

Best Available Copy

Requested Patent JP5326999A
Title: SEMICONDUCTOR PHOTODETECTOR
Abstracted Patent JP5326999
Publication Date: 1993-12-10
Inventor(s): HAMANA TAKASHI
Applicant(s): MITSUBISHI ELECTRIC CORP
Application Number: JP19920155926 19920522
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L31/10

Equivalents:

ABSTRACT:

PURPOSE: To improve photosensitivity as well as to decrease dark current by placing a p-type silicon germanium layer having a low concentration of impurity over a p-type silicon substrate having a low concentration of impurity, and also placing a p-type silicon layer having a high concentration of impurity over that germanium layer.

CONSTITUTION: Infrared rays 4 that enter from a p-type silicon substrate 1 reach a p-type silicon germanium layer 2 since the silicon allows most of the infrared rays to be transmitted. The p-type silicon germanium layer 2 has a low concentration of doping, but positive holes are present in large amounts, and hence it is possible for the germanium layer to cause the positive holes to be optically pumped by absorbing the infrared rays 4. Hence, it is possible: to extend a mean free path of the positive holes without reducing the concentration of positive holes in the first semiconductor layer; to improve photo-detection sensitivity; and to prevent an increase in the dark current caused by the diffusion of an impurity into the substrate 1 since the first semiconductor placed on the substrate 1 has a low concentration of impurity.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-326999

(43) 公開日 平成5年(1993)12月10日

(51) IntCl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 31/10		8422-4M	H 0 1 L 31/10	A

審査請求 未請求 請求項の数2(全7頁)

(21) 出願番号 特願平4-155926

(22) 出願日 平成4年(1992)5月22日

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 濱名 隆

兵庫県伊丹市瑞原4丁目1番地 三菱電機

株式会社エル・エス・アイ研究所内

(74) 代理人 弁理士 早瀬 憲一

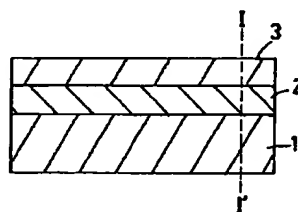
(54) 【発明の名称】 半導体光検出装置

(57) 【要約】

【目的】 半導体光検出装置において光検出感度の向上を図るとともに、暗電流を低減する。

【構成】 不純物濃度の低いp型シリコン基板1上に不純物濃度の低いp型シリコンゲルマニウム層2を設け、さらにそのp型シリコンゲルマニウム層の上に不純物濃度の高いp型シリコン層3を設けるようにした。

【効果】 不純物濃度の低いp型シリコンゲルマニウム層と不純物濃度の高いp型シリコン層の接合はp型シリコンゲルマニウム層中の正孔濃度を低下させることなく、正孔の平均自由行程を延ばしうるので、光検出感度が向上する。さらに、不純物濃度の低いp型シリコンゲルマニウム層は不純物をp型シリコン基板へ多量に拡散させることはないため、暗電流を低減できる。



1: 低濃度P型シリコン基板
2: 低濃度P型シリコン
ゲルマニウム層
3: 高濃度P型シリコン層

【特許請求の範囲】

【請求項1】 不純物濃度の低い半導体基板と、

上記半導体基板の主表面上に設けられた、バンドギャップ幅が上記半導体基板よりも小さく、かつその伝導帯下端または価電子帯上端のどちらか一方が上記半導体基板のそれとほぼ一致する材料からなる不純物濃度の低い第1の半導体層と、

上記第1の半導体層の主表面上に設けられた、上記半導体基板と同じ材料からなる不純物濃度の高い第2の半導体層とを備えたことを特徴とする半導体光検出装置。

【請求項2】 上記半導体基板及び第2の半導体層として、p型シリコンを用い、

上記第1の半導体層としてp型シリコンゲルマニウム混晶を用いたことを特徴とする請求項1記載の半導体光検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は半導体光検出装置に関し、特にその光検出感度の向上と暗電流の低減を図ったものに関する。

【0002】

【従来の技術】 図5は従来のSiGe/Siヘテロ結合型赤外線検出装置の断面構造を示す図であり、同様の構造のものは、例えば論文「SiGe/Si Heterojunction Internal Photoemission Long-Wavelength Infrared Detectors Fabricated by Molecular Beam Epitaxy」, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.38, No.5, p.1141, MAY 1991) に記されている。

【0003】 図において、1はアクセプタ濃度が $10^{15} \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の低濃度p型シリコン(Si)基板、20はp型シリコン基板1上にエピタキシャル成長されたアクセプタ濃度が 10^{20} cm^{-3} 以上の高濃度p型シリコンゲルマニウム(Si_{1-x}Ge_x)混晶層である。

【0004】 図6は、図5の点線III-III'におけるバンドダイヤグラムを示す図である。まず、図6について説明する。シリコンゲルマニウム混晶のバンドギャップはシリコンよりも小さく、Geの混晶比xが大きくなるほど、バンドギャップは小さくなる。また、電子親和力はシリコンとほぼ同じであるので、図6のようにシリコンゲルマニウムの伝導帯下端Ecとシリコンの伝導帯下端とは連続的につながる。

【0005】 このことは、シリコンゲルマニウムの価電子帯上端Evとシリコンの価電子帯上端にはオフセットが生じることを意味する。従って、シリコンゲルマニウ

ムとシリコンのヘテロ接合では、価電子帯上端にノッチとスパイクが形成される。また、シリコンゲルマニウム層は極めて高濃度にドーピングされているので、アクセプタ準位が縮退し、フェルミ準位EFは価電子帯内へ入り込んでいる。

【0006】 シリコンゲルマニウム層のアクセプタ濃度は極めて高いので、ノッチはほとんど生じない。一方、p型シリコン基板は低濃度であるから、スパイク部の空乏層がある幅を持って存在する。図6は以上のことを表わすバンドダイヤグラムである。

【0007】 次に動作について説明する。図7は図5の赤外線検出装置の動作状態を示す図であり、図において、4はp型シリコン基板1側から入射する赤外光、5は高濃度p型シリコンゲルマニウム層20に正の直流電圧Vを印加するための電圧源、6は赤外光4により発生された光電流を検出するための電流計である。

【0008】 図8は図7の点線IV-IV'におけるバンドダイヤグラムを示す図である。図において、7は赤外光4により光励起され、p型シリコン基板1へ注入される正孔、8は赤外光4により光励起され、p型シリコン基板1方向へ進行したが、p型シリコンゲルマニウム中の散乱中心により散乱され、p型シリコン基板1内まで到達できなかった正孔を表わしている。

【0009】 p型シリコン基板1とp型シリコンゲルマニウム層20の間には直流電圧Vが印加されているので、各々のフェルミ準位EFはポテンシャルVだけ差がある。このポテンシャル差は図8に示したように、低濃度のシリコン基板1に空乏層を形成する。

【0010】 p型シリコン基板1側から入射した赤外光4は、シリコンは赤外光に対しこれを殆ど透過させるので、p型シリコンゲルマニウム層20まで到達する。p型シリコンゲルマニウム層20は高濃度にドーピングされており、極めて多数の正孔が存在する。このため、赤外光4は正孔による自由キャリア吸収によって吸収される。つまり、p型シリコンゲルマニウム層内の正孔は赤外光4により光励起される。

【0011】 光励起された正孔は、大きな運動エネルギーを持つので、非常に高速で運動する。図8中の正孔7及び8はヘテロ界面へ進行する正孔を示している。正孔7のように界面まで到達し、かつヘテロ接合のバリア高さΔEvを越えるだけの運動エネルギーを持った正孔はp型シリコン基板1に注入され、その後、空乏層に存在する電界に引っ張られる。このような正孔の流れが光電流として、電流計6により検出される。長波長の赤外光の光子エネルギーhνは小さいので、このような赤外光を吸収した正孔はヘテロ接合のバリアを越えることはできない。つまり、検出赤外光の遮断波長λmaxとヘテロ接合のバリア高さΔEvの関係は(1)式で与えられる。

【0012】

3

$$\lambda_{\max}(\mu\text{m}) = 1.24 / \Delta E \text{ (eV)} \quad \dots(1)$$

【0013】この赤外線検出装置には、次のような問題点がある。赤外光4により光励起された正孔は、ある一定の距離（平均自由行程）を進むと、p型シリコンゲルマニウム層20中の散乱中心により散乱され、その際に運動エネルギーを全て失ってしまう。つまり、p型シリコンゲルマニウム層20のヘテロ界面（p形シリコン基板1との界面）から平均自由行程の距離の間で光励起された正孔7しか光電流に寄与せず、ヘテロ界面から平均自由行程距離より遠くで、光励起された正孔8は光電流に寄与できない。

【0014】この散乱中心の原因は主に格子の熱振動（フォノン）、イオン化不純物、中性不純物、結晶欠陥等がある。

【0015】従来の赤外線検出装置では、p型シリコンゲルマニウム層20に高濃度にボロン（アクセプタ）をドーピングするので、イオン化不純物散乱が大きい。また、このような赤外線検出装置を形成するのに一般的に用いられている分子線エビタキシー法（MBE）では、ドーパントとしてHBO₂を用いるので、p型シリコンゲルマニウム層20のボロンドーピングの際に同時に酸素も多量に取り込まれる。この酸素は結晶欠陥を誘起するため、p型シリコンゲルマニウム層20の結晶性は悪くなる。以上の理由で高濃度のp型シリコンゲルマニウム層20における正孔の平均自由行程は極めて小さくなり、従来の赤外線検出装置の赤外光検出感度は充分発揮されないものとなってしまう。

【0016】また、p型シリコンゲルマニウム層20を高濃度にドーピングすることは次の問題点も生じる。

【0017】図9はその問題点を説明するための従来の赤外線検出装置の断面図である。p型シリコンゲルマニウム層20はp型シリコン層1上にエビタキシャル成長により形成するが、形成中には基板温度を500℃から600℃の高温にするので、高濃度のp型シリコンゲルマニウム層20中のボロンが低濃度のp型シリコン基板1へ拡散し、p型シリコン基板内部に高濃度のp型シリコン層9が形成される。図10は図9の点線V-V'におけるバンドダイヤグラムを示す図である。図10において、10はヘテロ接合のバリアをトンネル効果により透過した正孔である。

【0018】図10につき、この問題点について説明する。p型シリコン基板1とp型シリコンゲルマニウム層20の間に直流電圧Vを印加すると、p型シリコン基板1内に形成された高濃度のp型シリコン層9は非常にアクセプタ濃度が高いので、空乏層は延びず、この層内でポテンシャル差はほとんど吸収されてしまう。従って、ヘテロ接合のバリアは図10のように極めて薄くなり、p型シリコンゲルマニウム層20にある正孔10はトンネル効果によりこのバリアを容易に透過することが可能である。このため、光励起によらない電流（暗電流）が

4

ヘテロ接合に大量に流れることとなる。この暗電流は光信号に対してノイズと見なされるので、可能な限り小さいことが望ましい。

【0019】以上のように従来の赤外線検出装置では、低濃度のp型シリコン基板1の上に直接高濃度のp型シリコンゲルマニウムを成長させているため、暗電流が多くなるという問題点がある。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】従来の半導体光検出装置は以上のように低濃度p型シリコン基板上に高濃度p型シリコンゲルマニウム層を形成するように構成されているので、p型シリコンゲルマニウム層内で光励起された正孔が不純物散乱を受け、光検出感度が低下すること、さらにp型シリコンゲルマニウム層の不純物がp型シリコン基板へ拡散するために暗電流が増加し、S/N比が低下するという問題点があった。

【0021】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、光検出感度が高くできるとともに、暗電流の少ない半導体光検出装置を得ることを目的としている。

【0022】

【課題を解決するための手段】この発明に係る半導体光検出装置は、不純物濃度の低い半導体基板と、該基板上に設けられたバンドギャップ幅が基板よりも小さくかつその伝導帯下端または価電子帯上端のどちらか一方が基板のそれとほぼ一致する材料からなる不純物濃度の低い第1の半導体層と、該第1の半導体層上に設けられた、基板と同じ材料からなる不純物濃度の高い第2の半導体層とを備えたものである。

【0023】

【作用】この発明においては、不純物濃度の低い半導体基板と、該基板上に設けられたバンドギャップ幅が基板よりも小さくかつその伝導帯下端または価電子帯上端のどちらか一方が基板のそれとほぼ一致する材料からなる不純物濃度の低い第1の半導体層と、該第1の半導体層上に設けられた、基板と同じ材料からなる不純物濃度の高い第2の半導体層とを備えた構成としたから、第1の半導体層中の正孔濃度を低下させることなく、正孔の平均自由行程を延ばすことができ、光検出感度を向上できるとともに、基板上に設けた第1の半導体層を不純物濃度の低いものとしたから、基板への不純物の拡散に起因する暗電流の増大を防止することができる。

【0024】

【実施例】以下、この発明の一実施例を図について説明する。図1はこの発明の一実施例による半導体光検出装置の構造を示す断面図である。

【0025】図において、2は低濃度のp型シリコン基板1の上に形成された、低濃度のp型シリコンゲルマニウム層であり、3はp型シリコンゲルマニウム層2の上に形成された高濃度のp型シリコン層である。図2(b)

は図1のI-I'におけるバンドダイヤグラムである。図2(a)は図2(b)を説明するための図である。まず、図2について説明する。

【0026】図2(a)はp型シリコン基板1上に低濃度のp型シリコンゲルマニウム層2を形成したときのバンドダイヤグラムである。両方の半導体ともに低濃度ドーピングであるので、フェルミレベルEFはバンドギャップ内にある。そして、従来の技術で説明したように価電子帯上端Evにオフセット ΔE_v が存在する。従って、平衡状態では、フェルミレベルEFは一定であるから、図2(a)に示したようなバンドダイヤグラムとなる。図2(b)は、低濃度のp型シリコンゲルマニウム2上に高濃度にドーピングしたp型シリコン層3を形成した場合のバンドダイヤグラムを示している。高濃度p型シリコン層3は縮退しており、フェルミレベルEFは価電子帯の内に入り込んでいる。従って、平衡状態では、図2(b)のようなバンドダイヤグラムとなる。ここで注目すべき点は、低濃度p型シリコンゲルマニウム層2と高濃度p型シリコン層3がヘテロ接合であり、正孔に対するポテンシャルエネルギーは、高濃度p型シリコン層3の方が低い(図において、上になるほど正孔のエネルギーは低い)がゆえに、高濃度p型シリコン層3に存在する正孔の一部は低濃度p型シリコンゲルマニウム層2へ移動する。即ち、図2(b)で言うならば、p型シリコンゲルマニウム層2の価電子帯上端EvとフェルミレベルEFの間に電子の存在しない“すき間”が存在する。この“すき間”は大量の正孔を意味している。即ち、本実施例の構造は、シリコンゲルマニウム層2が低濃度のp型であるにもかかわらず、その層内に大量の正孔が存在するという特徴を持っている。

【0027】次に動作について説明する。図3は図1の実施例による半導体光検出装置(赤外線検出装置)の動作状態を示す図であり、図において、4はp型シリコン基板1側から入射する赤外光、5は高濃度p型シリコン層3に正の直流電圧Vを印加するための電圧源、6は赤外光4により発生された光電流を検出するための電流計である。

【0028】また、図4は図3の点線II-II'におけるバンドダイヤグラムであり、図において、7は赤外光4により光励起され、p型シリコン基板1へ注入される正孔である。

【0029】p型シリコン基板1側から入射した赤外光4は、シリコンが赤外光に対しこれをほとんど透過させるので、p型シリコンゲルマニウム層2まで到達する。p型シリコンゲルマニウム層2は低濃度ドーピングであるが、上述したように正孔は多量に存在する。このため、図4に示すように赤外光4を吸収して正孔を光励起することができる。光励起された正孔7は大きな運動エネルギーを持つので非常に高速で運動する。ヘテロ界面の方向へ進行する正孔7はヘテロ界面まで到達し、ヘテ

ロ接合のバリア ΔE_v を越えて、p型シリコン基板1に注入される。その後、正孔は空乏層に存在する電界に引っ張られる。この正孔の流れが光電流として電流計6により検出される。

【0030】但し、従来の技術で説明したようにヘテロ界面より平均自由行程以上の距離だけ離れたところで光励起された正孔は、従来装置ではp型シリコンゲルマニウム層20にアクセプタを高濃度にドーピングしていたため、p型シリコンゲルマニウム層20内での正孔の平均自由行程が短く、光電流に寄与することはできず、光検出感度は低かった。しかし、本発明の構造では、p型シリコンゲルマニウム層2は低濃度にしただけでドーピングされていないので、イオン化不純物、中性不純物は少なく、かつ結晶性も良好であるから、平均自由行程は非常に長い。従って、図4に示したごとく、ヘテロ界面から遠く離れたところで光励起された正孔7も光電流に寄与することができ、光検出感度を向上できる。

【0031】さらに、従来の装置では、低濃度のp型シリコン基板1上に高濃度のp型シリコンゲルマニウム層2を成長していたので、成長時に高濃度のp型シリコンゲルマニウム層2から低濃度のp型シリコン基板1へ不純物が拡散する。このために暗電流の増加が起り、S/Nが低下していたが、本実施例の構造では、低濃度のp型シリコン基板1上に低濃度のp型シリコンゲルマニウム2を形成するので、以上のような問題は全く生じることはない。

【0032】なお、上記実施例では基板としてシリコンを、光吸収層としてシリコンゲルマニウムを、光吸収層上に形成する不純物濃度の高い半導体層としてシリコンを用いたものについて説明したが、これらは、光吸収層が基板よりもバンドギャップ幅が小さく、かつその伝導帯下端または価電子帯上端のどちらか一方が基板のそれとほぼ一致するような材料からなり、この光吸収層の主表面上に基板と同じ材料からなる不純物濃度の高い半導体層とを備えた構成となっていれば、他の半導体材料で構成されていてもよく、上記実施例と同様の効果を奏する。

【0033】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、不純物濃度の低い半導体基板と、該基板上に設けられたバンドギャップ幅が基板よりも小さくかつその伝導帯下端または価電子帯上端のどちらか一方が基板のそれとほぼ一致する材料からなる不純物濃度の低い第1の半導体層と、該第1の半導体層上に設けられた、基板と同じ材料からなる不純物濃度の高い第2の半導体層とを備えた構成としたから、第1の半導体層中の正孔濃度を低下させることなく、正孔の平均自由行程を延ばすことができ、光検出感度を向上できるとともに、基板上に設けた第1の半導体層を不純物濃度の低いものとしたから、基板への不純物の拡散に起因する暗電流の増大を防止すること

7

ができ、これにより、光検出感度が高く、S/N比の良い半導体光検出装置を得ることができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施例による半導体光検出装置を示す断面図である。

【図2】図1のI-I'線におけるバンドダイヤグラム図である。

【図3】図1の実施例による半導体光検出装置の動作状態を示す図である。

【図4】図3のII-II'線におけるバンドダイヤグラム図である。

【図5】従来の半導体光検出装置を示す断面図である。

【図6】図5のIII-III'線におけるバンドダイヤグラム図である。

【図7】図5の半導体光検出装置の動作状態を示す図で

8

ある。

【図8】図7のIV-IV'線におけるバンドダイヤグラム図である。

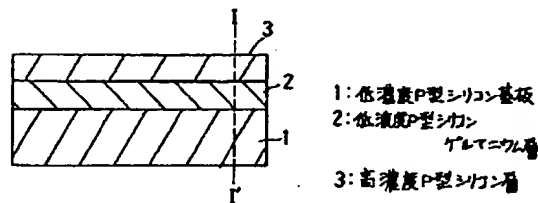
【図9】従来の半導体光検出装置における問題点を説明するための図である。

【図10】図9のV-V'線におけるバンドダイヤグラム図である。

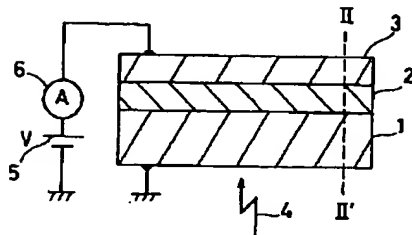
【符号の説明】

- 1 低濃度p型シリコン基板
- 2 低濃度p型シリコンゲルマニウム層
- 3 高濃度p型シリコン層
- 4 赤外光
- 5 電圧源
- 6 電流計
- 7 光励起され基板へ注入される正孔

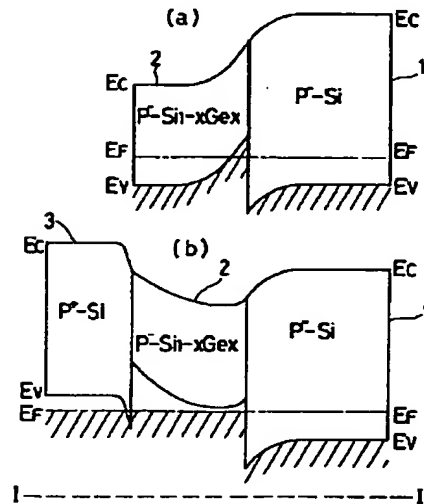
【図1】



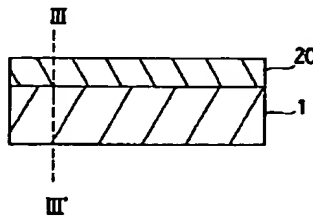
【図3】



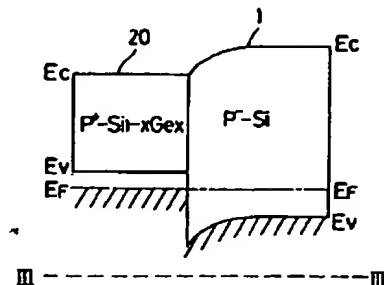
【図2】



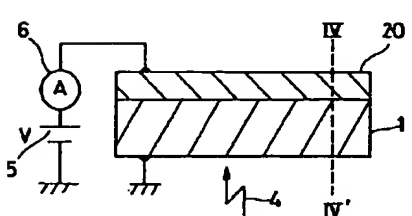
【図5】



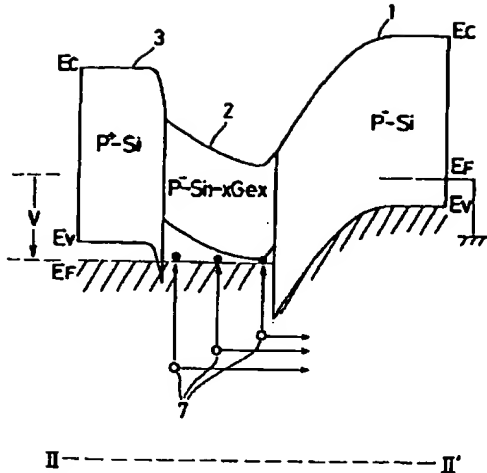
【図6】



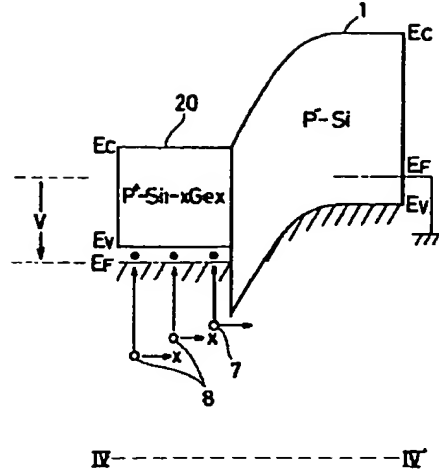
【図7】



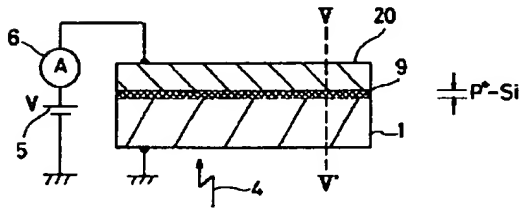
【図4】



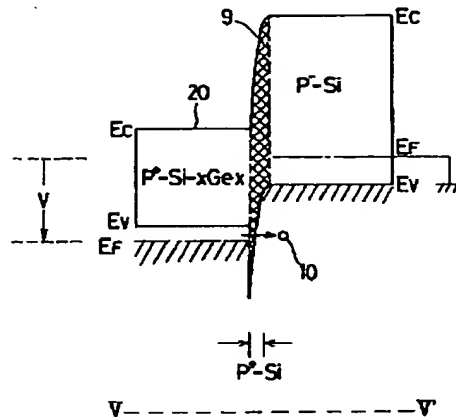
【図8】



【図9】



【図10】



【手続補正書】

【提出日】平成4年8月28日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

【補正内容】

【0002】

【従来の技術】図5は従来のSiGe/Siヘテロ接合型赤外線検出装置の断面構造を示す図であり、同様の構造のものは、例えば論文「SiGe/Si ヘテロジャンクションインターナル ホトエミッション ロングウェイブ レングス インフラレッドデテクターズ ファブリケイテッド パイ モルキュラー ビーム エピタキシー」(True-Lon Lin, A. Ksendzov, Suzan M. Dejewski, Er

ic W. Jones, Robert W. Pathauer, Timothy N. Krabach, and Joseph Maserjian, "SiGe/Si Heterojunction Internal Photoemission Long-Wavelength Infrared Detectors Fabricated by Molecular Beam Epitaxy", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 38, No. 5, p. 1141, MAY 1991) に記されている。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正内容】

【0030】但し、従来の技術で説明したようにヘテロ界面より平均自由行程以上の距離だけ離れたところで光励起された正孔は、光電流に寄与することはできない。

従来装置ではp型シリコンゲルマニウム層20にアクセプタを高濃度にドーピングしていたため、p型シリコンゲルマニウム層20内での正孔の平均自由行程が短く、光検出感度は低かった。しかし、本発明の構造では、p型シリコンゲルマニウム層2は低濃度にしかドーピングされていないので、イオン化不純物、中性不純物は少なく、かつ結晶性も良好であるから、平均自由行程は非常に長い。従って、図4に示したごとく、ヘテロ界面から遠く離れたところで光励起された正孔7も光電流に寄与することができ、光検出感度を向上できる。

【手続補正3】

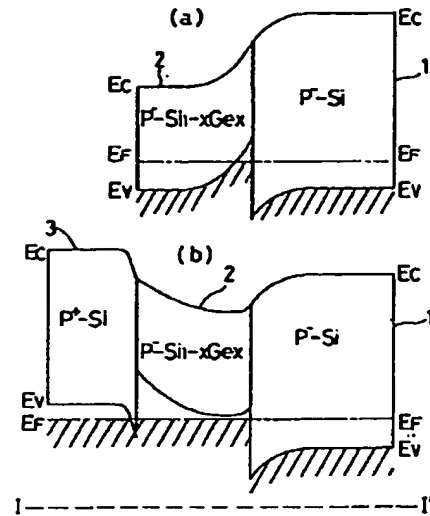
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

【補正内容】

【図2】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.